

PREDIKSI ALIRAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN MODIFIKASI MODEL BILANGAN KURVA

PREDICTION OF SURFACE RUNOFF USING MODIFICATION OF CURVE NUMBER MODEL

Putu Sudira¹, Tri Purwadi¹, Sukresno², dan Meli Nurlaili³

ABSTRACT

The objectives of the study are (i) to predict surface runoff of watersheds using modification of curve number model, and (ii) to find out the good fit of model application at different size of watersheds. The research was conducted in Padas sub watershed (3356.48 ha) and Goseng sub watershed (596 ha), upper Solo watershed, Central Java. The data used for analysis were daily rainfall, daily of water level in the stream, soil type, landuse, and minimum infiltration rate from 1998 up to 2002.

Surface runoff was calculated using modification of Soil Conservation Service Curve Number Model, which was integrated with the model of SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins). The use of curve number model was based on the availability of data such as soil type evaluation, landuse, conservation practices, initial soil moisture contents, and the hydrologic condition of the watersheds.

Results indicated that the model was not valid for bigger watershed (Padas sub watershed). This was denoted by low values of correlation coefficient between observed and predicted surface runoff. The t_{test} indicated that observed and predicted surface runoff are significantly different. On the other hand, for the smaller one (Goseng sub watershed) the model was agreed, it was illustrated by no significantly different between observed and predicted surface runoff based on the statistical measures above.

Keywords: prediction, surface runoff, curve number model

PENDAHULUAN

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan sebuah prosesor dimana curah hujan dan unsur klimatik lainnya sebagai masukan (*input*) yang menghasilkan keluaran (*output*) berupa debit aliran dan hasil sedimen. DAS mempunyai karakteristik yang spesifik dan berkaitan erat dengan unsur utamanya seperti tanah, tata guna lahan, topografi, kemiringan lahan dan kemiringan sungai. Karakteristik biofisik DAS dalam memberikan tanggapan (*response*) terhadap curah hujan yang jatuh di dalam wilayah DAS, dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi, aliran permukaan, kandungan air tanah, dan debit aliran sungai. Keluaran yang dihasilkan oleh proses dalam sistem DAS dapat digunakan sebagai penilai indikator keberhasilan manajemen pengelolaan DAS (Asdak, 2002).

Pemahaman tentang sifat-sifat aliran air permukaan tanah yang meliputi jumlah, laju, dan dinamika aliran air dapat dipergunakan untuk menentukan kemampuan aliran air yang menyebabkan terjadinya erosi. Aliran air permukaan merupakan faktor penting yang harus

dipertimbangkan dalam perencanaan berbagai usaha konservasi tanah dan air. Berbagai model telah dilakukan untuk mensimulasi proses ini. Dalam penelitian ini digunakan model SCS Curve Number (Bilangan Kurva) yang merupakan sub model dari model SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins). Dalam penggunaannya, nilai Bilangan Kurva ditentukan atas dasar evaluasi jenis tanah, vegetasi, pola tata guna lahan, kadar lengas tanah awal, serta kondisi hidrologis permukaan tanah. Model ini dipilih karena dalam prosesnya model ini dapat menghubungkan tebal aliran air permukaan tanah dengan tipe jenis tanah, tata guna lahan dan manajemen pengelolaan DAS (Arnold dan Williams, 1995).

Tujuan penelitian ini adalah untuk (i) menghitung tebal aliran air permukaan tanah di dua sub DAS dengan mengkaji karakteristik aliran sungai pada suatu DAS yang mencakup curah hujan, evaluasi jenis tanah, tataguna lahan dan manajemen pengelolaan DAS dan (ii) mengkaji validitas model pada dua DAS yang mempunyai ukuran luas yang berbeda.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di DAS Solo Hulu yaitu di Sub DAS Padas yang terletak di Kabupaten Sragen dan Sub DAS Goseng yang terletak di Kabupaten Karanganyar.

Analisis Data

Tebal aliran permukaan diprediksi menggunakan persamaan SCS curve number (Chow, dkk., 1988) dengan masukan data curah hujan harian sesaat (5 hari hujan).

$$Q = \frac{(R - 0,2s)^2}{R + 0,8s} \quad R > 0,2s \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = 0,0 \quad R \leq 0,2s \quad \dots \dots \dots (2)$$

Dimana Q adalah tebal aliran permukaan harian dalam mm, R adalah curah hujan harian sesaat (5 hari hujan dalam mm), dan s adalah perubahan parameter retensi (parameter potensial penahanan air maksimum dalam tanah dalam mm). Perubahan parameter retensi ini dihitung mengikuti urutan perhitungan berikut:

- 1) Parameter retensi (S) dihitung dengan Persamaan (3), dimana konstanta 254 memberikan S dalam mm. sehingga satuan Q dan R juga dinyatakan dalam mm. CN (curve number) adalah bilangan kurva yang dihitung berdasarkan bobot tata guna lahan di DAS.

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad \dots \dots \dots (3)$$

1) Fak. Teknologi Pertanian, UGM
2) BP2TP DAS Surakarta
3) Alumni Jurusan Teknik Pertanian, Fak. Teknologi Pertanian, UGM

- 2) Nilai CN_1 dan CN_3 dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Arnold dan Williams, 1995).

$$CN_1 = CN_2 - \frac{20(100 - CN_2)}{100 - CN_2 + \exp[2.533 - 0.0636(100 - CN_2)]} \quad (4)$$

Dimana CN_1 adalah *curve number* untuk kondisi lengas tanah kering.

$$CN_3 = CN_2 \exp[0.00673(100 - CN_2)] \quad (5)$$

Dimana CN_3 adalah *curve number* untuk kondisi lengas tanah basah.

Sedangkan nilai CN_2 adalah nilai bilangan kurva yang dihitung berdasarkan pembobotan kondisi tata guna lahan sesaat. Dengan diketahuinya nilai CN_1 , CN_2 , CN_3 , maka nilai s_1 , s_2 , dan s_3 dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

- 3) Perubahan nilai parameter retensi (s) dengan adanya fluktuasi kadar lengas tanah dihitung dengan Persamaan (6)

$$s = s_1 \left(1 - \frac{FFC}{FFC + \exp[w_1 - w_2(FFC)]} \right) \quad (6)$$

Dimana s_1 adalah nilai parameter retensi dari CN_1 , FFC adalah fraksi dari kapasitas lapang, kemudian w_1 dan w_2 adalah parameter bentuk.

- 4) Nilai FFC dihitung menggunakan Persamaan (7) yang menunjukkan bahwa lengas tanah didistribusikan merata pada tanah lapisan atas.

$$FFC = \frac{SW - WP}{FC - WP} \quad (7)$$

Dimana SW adalah kadar lengas tanah dalam zona perakaran, WP adalah kadar titik layu, dan FC adalah kadar kapasitas lapang.

Nilai SW , WP , dan FC diatas dihitung dengan nilai tertimbang. Misalnya :

$$SW_{\text{tertimbang}} = \frac{(SW_1 \times LTL_1) + (SW_2 \times LTL_2) + \dots}{LTL_1 + LTL_2 + \dots} \quad (8)$$

Di mana LTL_1 adalah luas tata guna lahan1 dan LTL_2 adalah luas tata guna lahan2

- 5) Nilai w_1 dan w_2 diperoleh dari Persamaan (9) dan (10):

$$w_1 = \ln \left(\frac{60}{1 - s_2 / s_1} - 60 \right) + 60.w_2 \quad (9)$$

$$w_2 = \frac{\ln \left(\frac{60}{1 - s_2 / s_1} - 60 \right) - \ln \left(\frac{POFC}{1 - s_3 / s_1} - POFC \right)}{POFC - 60} \quad (10)$$

Dimana s_3 adalah parameter retensi CN_3 . Persamaan di atas dapat digunakan untuk indikator bahwa CN_1 sesuai dengan kadar titik layu dan nilai CN (*curve number*) tidak dapat melebihi 100.

- 6) Nilai $POFC$ dihitung dengan persamaan :

$$POFC = 100. + 50. \left[\frac{PO - FC}{FC - WP} \right] \quad (11)$$

Dimana PO adalah porositas tanah. Nilai PO tersebut dihitung dengan nilai tertimbang, seperti pada contoh diatas.

HASIL dan PEMBAHASAN

Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Secara astronomis, sub DAS Padas terletak pada 7° 20' LS dan 111° 02' BT. Sub DAS Padas terletak di sebelah hilir waduk Gajah Mungkur dengan luas 3356,84 hektar dan panjang sungai utama 16,286 km mengalir ke arah selatan menuju ke sungai Bengawan Solo. Lokasi Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) terletak di desa Katelan, kecamatan Tangen, Kabupaten Sragen. Sebelumnya sub DAS Padas ini mempunyai luas sebesar 3485 ha, setelah adanya arus balik dari sungai pada sekitar tahun 1970-an, maka lokasi SPAS dinaikkan sehingga luas sub DAS Padas berkurang sekitar 128 ha menjadi seluas 3356,84 ha (Anonim, 2004 b).

Sub DAS Goseng terletak di DAS Samin, DAS Solo Hulu, Jawa Tengah. Sub DAS Goseng adalah ordo pertama sungai Samin yang juga bermuara di Bengawan Solo, dengan SPAS yang terletak di desa Ngunut, kecamatan Jumantono, Kabupaten Karanganyar. Secara astronomis sub DAS Goseng terletak pada 7° 39' 32" - 7° 45' 8" LS dan 110° 59' 2" - 111° 2' 15" BT dengan luas ± 596 hektar. Kondisi topografi umumnya adalah bergelombang dengan formasi geologi yang berasal dari formasi vulkanik gunung Lawu (Anonim, 2004 a). Beberapa parameter fisik sub DAS Padas dan sub DAS Goseng dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Table 1. Physical parameters of Padas and Goseng sub watersheds

No	Physical parameter	Values	
		Padas	Goseng
1	Area of watershed (ha)	3356,84	596
2	Watershed rounding (km)	29,58	14,328
3	Length of watershed (km)	10,032	6,199
4	Length of main stream (km)	16,286	7,94
5	Width of watershed (km)	2,06	0,75
6	Topograpy (%)	9,77	18,15
7	Average altitute (m-dpl)	133	334

Sumber : Laporan Tahunan BP2TP DAS Solo (1999) dan analisis data primer

Jenis Tanah

Evaluasi jenis tanah untuk masing-masing sub DAS terpilih ini sangat bermanfaat dalam menentukan kelas tekstur masing-masing jenis tanah. Dari klasifikasi tekstur tanah, dapat ditentukan laju infiltrasi minimum, nilai kapasitas lapang (*field capacity*), kadar lengas tanah (*soil water*), kadar titik layu (*wilting point*), dan porositas tanah (*soil porosity*).

Pada sub DAS Padas terdapat berbagai jenis tanah, yaitu :

- Grumosol : teksturnya lempung berliat sampai liat. Daya menahan air yang cukup baik, sedangkan permeabilitasnya cukup lambat dan sangat peka terhadap erosi.
- Regosol : teksturnya pasir sampai lempung berdebu. Laju infiltrasi yang cepat, dan daya menahan air sangat rendah, serta peka terhadap erosi.

- Litosol : tekstur umumnya kasar, berpasir atau berkerikil, dan peka terhadap erosi.

Pada sub DAS Goseng terdapat berbagai jenis tanah, yaitu :

- Mediteran : teksturnya lempung-liat. Daya menahan air sedang, permeabilitasnya juga sedang.
- Latosol : tekstur liat, infiltrasi dan perkolasinya agak cepat sampai agak lambat, daya menahan air cukup baik dan agak tahan terhadap erosi.

Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di kedua DAS selama lima tahun terakhir pada umumnya tidak mengalami perubahan seperti terlihat pada Tabel 2 dan 3.

Table 2. Land use of Padas sub watershed (1998-2002)

Yr	Land use										Total area (ha)
	Dry land		Paddy field		Village		Forest		Free space		
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
98	1497,39	44,61	784,04	23,36	560,61	16,70	504	15,01	2,08	0,062	3356,84
99	1497,39	44,61	784,04	23,36	560,61	16,70	504	15,01	2,08	0,062	3356,84
00	1497,39	44,61	784,04	23,36	560,61	16,70	504	15,01	2,08	0,062	3356,84
01	1497,39	44,61	784,04	23,36	560,61	16,70	504	15,01	2,08	0,062	3356,84
02	1497,39	44,61	784,04	23,36	560,61	16,70	504	15,01	2,08	0,062	3356,84

Sumber : Laporan tahunan BP2TPDAS Surakarta (2004 b) dan analisis data primer.

Table 3. Land use of Goseng sub watershed (1998-2002)

Tahun	Land use						Total area (ha)
	Dry land		Paddy field		Village		
	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
1998	298.6	50.1	155.55	26.1	141.85	23.8	596
1999	298.6	50.1	155.55	26.1	141.85	23.8	596
2000	298.6	50.1	155.55	26.1	141.85	23.8	596
2001	298.6	50.1	155.55	26.1	141.85	23.8	596
2002	298.6	50.1	155.55	26.1	141.85	23.8	596

Sumber : Laporan tahunan BP2TPDAS Surakarta (2004 a) dan analisis data primer.

Analisis Metode Bilangan Kurva

Parameter model masing-masing sub DAS dihitung menggunakan formulasi yang telah diterangkan di

bagian depan (Persamaan 1 sampai dengan 11), dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Table 4. Parameters of the model of two sub watersheds

No.	Model parameters	Sub watersheds	
		Padas	Goseng
1.	Wilting point (WP), %	11,057	28,09
2.	Field capacity (FC), %	30,79	43,73
3.	Soil water content (SW), %	19,74	15,64
4.	Fraction of field capacity (FFC)	0,44	0,79
5.	Soil porosity (PO), %	56,21	59,36
6.	Ratio of porosity-field capacity (POFC)	164,4	149,97
7.	Average curve number (CN ₂)	56,43	73,53
8.	Curve number of dry land (CN ₁)	36,78	55,15
9.	Curve number of wet land (CN ₃)	76,66	87,88
10.	Retention parameter (s), mm	196,12	91,44

Tingkat ketepatan prediksi aliran permukaan sangat ditentukan oleh besarnya parameter retensi (s). Semakin tinggi nilai parameter retensi maka tebal aliran permukaan semakin berkurang, begitu juga sebaliknya apabila parameter retensi kecil maka tebal aliran permukaan semakin besar (Singh, 1995). Dari penentuan nilai s tersebut dapat diaplikasikan pada Persamaan 2 dan 3, di mana aliran permukaan dapat terjadi apabila jumlah curah hujan melebihi 0,2 dikalikan nilai parameter retensinya ($0,2s$). Apabila kurang dari $0,2s$ maka tidak terjadi aliran permukaan.

Analisis Pengujian Model

Hasil perhitungan tebal aliran permukaan dengan menggunakan Model Bilangan Kurva ini dibandingkan dengan hasil perhitungan aliran permukaan observasi, dengan menggunakan dua macam tolok ukur statistik, yaitu uji t (t test), dan koefisien korelasi (*correlation coefficient*, R) (Sudira, 1999). Untuk memberikan hasil yang lebih akurat maka pengujian dilakukan pertahun (Tabel 5)

Table 5. Validity test of the model.

Year	No. of data	PADAS			
		Ttest		Correlation coefficient (R)	
		T calc.	T tab.	R calc.	R tab.
1998	23	-2.176 [#]	± 2.069	0.222	0.413
1999	19	-2.424 [#]	± 2.093	0.391	0.456
2000	16	-2.960 [#]	± 2.120	0.656	0.497
2001	18	-2.556 [#]	± 2.101	0.127	0.468

Year	No. of data	Goseng			
		Ttest		Correlation coefficient (R)	
		T calc.	T tab.	R calc.	R tab.
1998	23	-1.861 [*]	± 2.069	0.964	0.413
1999	26	0.017 [*]	± 2.056	0.882	0.388
2000	20	-1.670 [*]	± 2.086	0.873	0.444
2001	12	-2.117 [*]	± 2.179	0.783	0.576

Legend : # : statistically different
* : statistically not different

Pada Tabel 5 terlihat bahwa di sub DAS Padas, nilai aliran air permukaan tanah prediksi (model) secara statistik berbeda dengan nilai pengamatan. Hal ini dibuktikan oleh hasil uji T di mana nilai T hitung lebih besar daripada T tabel. Sedangkan korelasinya juga tidak begitu kuat, ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (R) hitung lebih kecil daripada R tabel. Sedangkan hasil sebaliknya diperoleh untuk sub Das Goseng, yang secara statistik tidak ada perbedaan antara aliran permukaan model dengan pengamatan.

Dari hasil pengujian model diatas, dapat dikatakan bahwa model hidrologi ini tidak sesuai diaplikasikan pada DAS yang besar. Hal tersebut disebabkan karena pada DAS yang berukuran besar, distribusi pengaruh tataguna lahan terhadap parameter model cukup besar dan nilai ini tidak dapat diambil reratanya. Selain itu, pada penelitian ini dipergunakan data curah hujan lima harian, sehingga besarnya aliran permukaan prediksi berbeda dengan pengamatan karena nilai *lag time rainfall* pada penelitian ini diabaikan. Sedangkan pada DAS yang kecil nilai *lag time rainfall* ini pengaruhnya kecil terhadap aliran permukaan. Untuk DAS yang besar sebaiknya dipergunakan periode hujan yang lebih lama, misalnya data 10 harian.

Kondisi fisik sub DAS Padas juga berpengaruh terhadap hasil penelitian ini di mana di sub DAS Padas banyak terdapat checkdam. Hal tersebut dapat mempengaruhi distribusi hujan di dalam DAS serta berpengaruh terhadap besarnya variasi nilai retensi permukaan tanah, di mana nilai ini sangat besar peranannya dalam menentukan besarnya nilai aliran permukaan.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Model Bilangan Kurva ini lebih baik diaplikasikan pada DAS yang kecil dibandingkan dengan DAS yang besar.
2. Model Bilangan Kurva ini didasarkan pada kondisi lengas tanah sesaat atau disebut juga AMC (*antecedent moisture content*) di mana terdapat tiga kelompok kondisi lengas tanah, yaitu kondisi lengas tanah total (CN_2), kondisi lengas tanah kering (CN_1), dan kondisi lengas tanah basah (CN_3). Dengan metode ini maka diperlukan untuk menentukan lamanya periode hujan sebagai data masukan model sesuai dengan luas DAS yang diteliti.
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, maka sebaiknya perubahan tata guna lahan yang terjadi di DAS dilakukan pengamatan secara rutin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2004 a, *Laporan Akhir Kajian Karakteristik Aliran Sungai Sub DAS Ngunut I dan Ngunut II*, Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Departemen Kehutanan, Surakarta.
- Anonim, 2004 b, *Laporan Akhir Kajian Karakteristik Aliran Sungai Sub DAS Padas*, Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Departemen Kehutanan, Surakarta.
- Anonim, 1999, *Laporan Akhir Kajian Karakteristik Aliran Sungai pada 13 Sub DAS*, Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Departemen Kehutanan, Surakarta.
- Arnold. J.G. and Williams. J. R., 1995, *SWRRB-A Watershed Scale Model For Soil And Water Resources Management, Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Colorado, USA.
- Asdak. C, 2002, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Chow.V.T., Maidment.D.R., Mays.L.W., 1988, *Applied Hydrology*, Mc.Graw-Hill Book Company. New York.
- Singh, V.P., 1995, *Computer Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publications, Colorado, USA.
- Sudira. P, 1999, Diktat Kuliah "Pemodelan dan Simulasi" Pasca Sarjana, UGM, Yogyakarta.

LAMPIRAN DAFTAR NOTASI

NO	NOTASI	URAIAN
1	CN	Bilangan Kurva
2	CN ₁	Bilangan Kurva untuk kondisi tanah kering.
3	CN ₂	Bilangan Kurva untuk kondisi rerata
4	CN ₃	Bilangan Kurva untuk kondisi tanah basah
5	FC	Kapasitas lapang
6	FFC	Fraksi kapasitas lapang
7	PO	Porositas tanah
8	POPC	Ratio porositas-kapasitas lapang
9	Q	Debit aliran
10	R	Curah hujan
11	s	Parameter retensi
12	s ₁	Parameter retensi untuk CN ₁
13	s ₂	Parameter retensi untuk CN ₂
14	s ₃	Parameter retensi untuk CN ₃
15	SW	Kadar lengas tanah
16	w ₁	Parameter bentuk DAS untuk kondisi s ₂ /s ₁
17	w ₂	Parameter bentuk DAS untuk kondisi s ₂ /s ₁ dan s ₃ /s ₁